

تأثیر شرایط فرآیند خشک کردن پاششی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، عملکردی و میکروساختار پودرهای شیره خرما

خشایار سرابندی^۱، علیرضا صادقی ماهونک^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۳ تا تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۹)

چکیده

هدف از این تحقیق، ارزیابی اثر پارامترهای مختلف نظیر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر کارایی تولید، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، جریان‌پذیری و مورفولوژیکی پودر شیره خرما خشک شده با استفاده از خشک‌کن پاششی در مقیاس نیمه‌صنعتی بود. متغیرهای فرآیند عبارتند از: دمای هوای ورودی ($140-180^{\circ}\text{C}$) و غلظت صمغ عربی (نسبت $20:80$ تا $60:40$ وزن کمک خشک‌کن نسبت به وزن مرطوب شیره خرما). حداکثر بازده ($55/74\%$) برای نسبت $50:50$ صمغ عربی در دمای 160°C بدست آمد. در غلظت‌های بالاتر صمغ عربی و با افزایش دمای هوای از 160 به 180°C ، بازده تولید کاهش یافت. دیگر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی نظیر مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده و دانسیته ضربه پودرها با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت‌های صمغ عربی کاهش یافتند. این ویژگی‌ها به ترتیب از $2/12-3/38\%$ ، $0/142-0/23$ ، $0/5-0/73$ و $0/56-0/87\text{g/ml}$ متغیر بودند. از سوی دیگر، رفتار جریان‌پذیری نمونه‌ها به استثناء نسبت صمغ عربی $60:40$ ، با افزایش دمای هوا و غلظت حامل بهبود پیدا کرد. همچنین جاذب‌الرطوبگی، انحلال‌پذیری و نم‌پذیری به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر متغیرهای فرآیند قرار گرفتند. نتایج حاصل از عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی حکایت از این دارند که با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی، ذرات پودر از سطوح نسبتاً صاف، کروی و حالت نیمه‌چسبنده (در غلظت‌های پائین حامل)، به ذرات مجزا و چروکیده (در غلظت‌های بالاتر صمغ عربی در دمای یکسان) تغییر می‌یابند. شکاف و ترک‌های موجود در برخی از ذرات هنگامی که دمای هوای خشک کردن از 140 به 180°C افزایش می‌یابد، مشاهده نشد.

کلید واژگان: بازده تولید، خشک‌کن پاششی، صمغ عربی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی.

* مسئول مکاتبات: Sadeghiaz@yahoo.com

۱- مقدمه

خشک کردن پاششی رایج‌ترین روش مورد استفاده برای ریزپوشانی انواع ترکیبات زیست فعال و تولید پودرهای غذایی با پایداری شیمیایی و میکروبی، سهولت استفاده به عنوان جزء افزودنی در فرمولاسیون‌های مختلف، استاندارد کردن، کاهش حجم یا وزن، بسته‌بندی، حمل و نقل و نگهداری بهتر نسبت به انواع کنسانتره‌های مایع است [۲ و ۱]. از سوی دیگر، به دلیل انجام فرآیند در مدت کوتاه، ارزش تغذیه‌ای و کیفیت محصول تا حدود زیادی حفظ می‌شود [۳]. این ویژگی سبب کاربرد گسترده این فرآیند، برای خشک کردن و ریزپوشانی ترکیبات حساس به حرارت در صنایع غذایی و داروسازی شده است [۴ و ۵].

یکی از مشکلات پیش رو در خصوص استفاده از این روش برای تولید پودرهای فوری، چسبندگی بالای کنسانتره، شربت، آبمیوه‌ها، و بازده پائین فرآیند تولید این محصولات است. درصد بالایی از ماده جامد این ترکیبات (حدود ۹۰٪) را قندهایی با وزن مولکولی پائین (نظیر فروکتوز، گلوکز و ساکارز)، و اسیدهای آلی (سیتریک، تارتاریک و مالیک) تشکیل می‌دهند، که با دارا بودن دمای انتقال شیشه‌ای پائین، موجب چسبیدن این محصولات به جداره خشک کن و افت شدید تولید این ترکیبات می‌شوند [۶ و ۵].

میوه خرما به اشکال مختلف خشک و تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محصول به دلیل اینکه دارای انواع ترکیبات فراسودمند و مغذی است، از دیرباز نقش مهمی در جیره غذایی بشر به‌ویژه مردمان نواحی شمال آفریقا و خاورمیانه ایفا نموده است. این میوه با دارا بودن انواع ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و کاروتنوئیدها از خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالایی نیز برخوردار است [۷]. حجم بالایی از خرما تولید شده در کشور به دلیل عدم استفاده از روش‌های کارآمد برداشت، بسته‌بندی سنتی، حمل و نقل و نگهداری نامناسب دچار افت کیفیت شده که این مساله ضررهای اقتصادی فراوانی را به همراه دارد، اما بسیاری از این خرماها در صنایع تبدیلی برای

تولید محصولات جانبی و باارزش دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این محصولات می‌توان به شیره خرما اشاره نمود [۸].

این محصول به علت غنی بودن از ترکیبات قندی بسیار چسبنده بوده که این امر، روند تبدیل این محصولات به شکل پودر را به دلیل بازیابی بسیار پائین تولید در انواع خشک کن‌های پاششی با مشکلات گسترده‌ای مواجه ساخته است [۹]. یکی از راه‌های کاهش یا برطرف کردن این مشکل، استفاده از ترکیباتی با وزن مولکولی بالا نظیر صمغ عربی و مالتودکسترین است. این حامل‌ها با افزایش دمای انتقال شیشه‌ای خوراک و کاهش جاذب الرطوبگی، موجب افزایش بازده تولید پودر از طریق کاهش چسبندگی می‌شوند [۱۰ و ۱۱].

از انواع حامل‌ها و کمک خشک کن‌های مورد استفاده در خشک کردن پاششی محصولات مختلف می‌توان به پلی-ساکاریدها (نشاسته، مالتودکسترین، سیروپ ذرت و صمغ عربی)، لیپیدها (استئاریک اسید، مونو و دی‌گلیسیریدها) و پروتئین‌ها (ژلاتین، کازئین، سرم شیر، گندم و سویا) اشاره نمود [۱۱-۱۵].

در بین حامل‌های مختلف، صمغ عربی به دلیل حالیت بالا و ویسکوزیته پائین، همچنین دارا بودن مقدار کمی پروتئین در ترکیب خود و خاصیت امولسیفایری، از کاربرد گسترده‌ای به عنوان عامل دیواره و کپسوله کننده در خشک کردن پاششی ترکیبات مختلف برخوردار است [۱۶]. همچنین، مطالعات زیادی حاکی از کارایی بهتر صمغ عربی نسبت به مالتودکسترین به دلیل دمای انتقال شیشه‌ای بیشتر آن است [۱۷]. اگرچه هزینه بالاتر استفاده از صمغ عربی به جای مالتودکسترین از جمله معایب آن به شمار می‌رود [۱۸]. با توجه به عدم وجود مطالعه در زمینه بررسی کارایی و اثر صمغ عربی بر خشک کردن پاششی و تولید پودر شیره خرما، هدف از این تحقیق، ارزیابی اثر نسبت‌های وزنی مختلف صمغ عربی و دمای هوای فرآیند بر قابلیت تولید، خواص فیزیکی شیمیایی، جریان پذیری و ساختار سطحی ذرات تولید شده بود.

آزمایشات نگهداری گردید. آب مقطر بمدت ۱۰ دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به‌عنوان خوراک به دستگاه داده شد.



Fig 1 pilot scale spray dryer used in this study.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه محلول خوراک

برای تولید هر کدام از تیمارها، صمغ عربی (KBR، هند) در نسبت‌های ۳۰:۷۰، ۴۰:۶۰، ۵۰:۵۰ و ۶۰:۴۰ درصد وزنی/وزنی براساس وزن مرطوب شیر خرم (دمباز، بندرعباس، ایران) رقیق شده با آب مقطر تا بریکس ۴۰، مورد استفاده قرار گرفت. بدین صورت که، هر یک از حامل‌ها به صورت مجزا در آب مقطر در دمای محیط و با استفاده از همزن مغناطیسی (L-81، لاینکو بی وی، هلند) حل، سپس با شیر خرم مخلوط، به گونه‌ای که برای تمام تیمارها، محلول خوراک با ماده جامد کل ۳۵٪ بر اساس وزن خشک تهیه شد. خوراکی‌های حاصل جهت انحلال کامل ترکیبات حامل و تولید محلولی شفاف، به مدت ۶ ساعت قبل از فرآیند خشک کردن پاششی نگهداری شدند.

۲-۲- فرآیند خشک کردن پاششی

در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت (مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده گردید (شکل ۱). محفظه خشک‌کن به صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای ۱ متر و ارتفاع کل محفظه ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پریستالتیک با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر ۳ لیتر مایع در ساعت با فشار ۱ bar برای ارسال خوراک به نازل بود. فرآیند پاشش توسط اتمایزر چرخشی با قطر ۵ cm و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، صورت گرفت. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار اتمایزر با استفاده از نتایج حاصل از آزمون و خطاهای انجام گرفته به ترتیب در 1800 rpm ، 10 ml/min ، $30 \pm 1^\circ \text{C}$ و $1/2 \pm 0/1$ بار ثابت نگه داشته شدند. دمای هوای ورودی و مقدار صمغ عربی مورد استفاده در تهیه خوراکی‌ها، متغیرهای فرآیند بودند. بدین ترتیب که از هوای ورودی با دماهای (۱۶۰، ۱۴۰، ۱۲۰) و بصورت هم جهت با خوراکی‌های از قبل تهیه شده برای خشک کردن استفاده گردید. پودر حاصل از خروجی اصلی تا رسیدن به دمای ثابت و ممانعت از تغییرات رطوبت در دسیکاتور قرار گرفته و سپس در شیشه‌های تیره و دور از نور تا زمان انجام

۲-۳- بازده تولید پودر

بازده تولید پودر معیار ارزیابی کارایی و اقتصادی بودن فرآیند خشک کردن پاششی است. مقدار این شاخص به صورت نسبت وزن پودر بدست آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک (بر حسب ماده خشک) محاسبه گردید. در این مطالعه، پودر جمع‌آوری شده در شیشه انتهایی دستگاه به عنوان محصول اصلی جهت محاسبه بازده فرآیند و انجام آزمون‌های پودر مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۴- مقدار رطوبت و فعالیت آبی

اندازه‌گیری مقدار رطوبت و فعالیت آبی نمونه‌ها عامل موثر در شناخت قابلیت ماندگاری محصولات خشک شده به روش پاششی است. برای تعیین مقدار رطوبت، حدود ۲ گرم پودر در یک پتری دیش بمدت ۲-۳ ساعت در یک آون در دمای $105 \pm 2^\circ \text{C}$ قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید، فرآیند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار رطوبت از طریق معادله ۱ محاسبه گردید [۱۹].

$$M\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

که در آن M درصد رطوبت، W_1 وزن ظرف خالی، W_2 مجموع وزن پودر و ظرف و W_3 مجموع وزن پودر خشک شده و ظرف بعد از آون‌گذاری می‌باشند. فعالیت آبی پودرهای شیر خرم نیز با دستگاه سنجش فعالیت آبی (Rotronic, Hygropalm، آلمان) تعیین شد. دستگاه یک

از ۲۵-۳۰ و ۱/۱۱-۱ برای جریان پذیری عالی و بیش از ۶۶ و ۱/۶ برای جریان پذیری بسیار بد (عدم جریان پذیری آزاد) بیان شده است [۲۰].

$$HR = \frac{TD}{BD} \quad (2)$$

در این فرمول HR (نسبت هاسنر)، TD (دانسیته توده حاصل از ضربه^۳)، BD (دانسیته توده) می‌باشند.

مقدار شاخص تراکم‌پذیری را می‌توان از رابطه ۳ و با استفاده از نسبت هاسنر محاسبه نمود [۲۰].

$$CI = 1 - (1/HR) \quad (3)$$

برای این شاخص، مقادیر تجربی بین ۰/۱۵-۰/۰۵ نشان دهنده رفتار جریان بسیار خوب با نوع پودر گرانولی و درشت و مقادیر بالاتر از ۰/۴ حاکی از عدم جریان پذیری به علت چسبندگی بالای پودرها است [۲۰].

۲-۷- اندازه‌گیری شاخص‌های انحلال‌پذیری و

نم‌پذیری

انحلال‌پذیری و نم‌پذیری شاخص‌های مهم و تعیین کننده در قابلیت استفاده از پودرهای غذایی (به ویژه پودرهای فوری) هنگام بازسازی در آب بوده و از نظر تولیدکنندگان و مصرف کنندگان از اهمیت بالایی برخوردارند. سنجش انحلال‌پذیری پودرهای شیره خرما با استفاده از روش کانو و همکاران (۲۰۰۵)، با کمی اصلاحات انجام گرفت. بدین صورت که، ۱ گرم پودر به دقت به ۱۰۰ml آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک همزن مغناطیسی در ۷۰۰rpm به مدت ۴min اضافه گردید. محلول حاصل در ۳۰۰۰xg برای ۴min سانتریفوژ شد. حجم ۲۵ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آون ۱۰۵°C به مدت ۵ ساعت خشک گردید. وزن ماده جامد خشک شده نسبت به پودر اولیه بر حسب درصد جهت تعیین مقدار انحلال‌پذیری در آب به کار رفت.

برای تعیین نم‌پذیری پودرها، ۰/۲ گرم پودر در دمای محیط بر سطح ۱۰۰ml آب مقطر بدون هم‌زدن ریخته شد. زمان صرف شده برای ته نشست ذرات از سطح آب به طوری که هیچ ذره‌ای بر سطح نمانده باشد برای محاسبه شاخص نم‌پذیری ثبت گردید [۲۱].

ساعت قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها، جهت کالیبراسیون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون، محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پر، سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در دمای محیط ۳۰ ± ۰/۵°C اندازه‌گیری شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار و میانگین آنها گزارش گردید.

۲-۵- دانسیته توده و دانسیته توده حاصل از

ضربه

دلایل اقتصادی و عملکردی مانند ویژگی‌های بسته‌بندی و شرایط حلق و نقل از عوامل مهم در تعیین دانسیته توده و دانسیته ضربه پودرها محسوب می‌شوند. دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر شیره خرما به استوانه مدرج (۱۰ml) و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، بصورت (گرم بر میلی لیتر) محاسبه گردید. سپس با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه وارد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود (میانگین ۴۰۰ ضربه)، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم حاصل پس از ضربه محاسبه و دانسیته توده حاصل از ضربه بدست آمد [۱۹].

۲-۶- جریان پذیری (زاویه استاتیک ریپوز،

شاخص تراکم‌پذیری^۱ و نسبت هاسنر^۲)

شاخص‌های جریان‌پذیری از جمله عوامل موثر بر سهولت و قابلیت استفاده از پودرها در فرمولاسیون‌ها، جابجایی و بسته‌بندی به شمار می‌روند. مقدار ۱۰ گرم پودر شیره خرما با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم (ساتوریوس، مدل BM150، آلمان) توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل یک توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید [۲۸].

پیوستگی پودرها با نسبت هاسنر (HR) قابل محاسبه می‌باشد (معادله ۲). مقادیر رابطه تجربی بین ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها و نتایج حاصل از دو آزمون زاویه ریپوز و نسبت هاسنر بر اساس تحقیقات جیناپونگ و همکاران (۲۰۰۸) و به ترتیب

1. Compressibility
2. Hausner ratio

3. Tapped density

تولید پودر با بازده ۲۶/۱۷٪ گردید، که این نشان دهنده اثر قابل ملاحظه دما بر کارایی فرآیند خشک شدن از طریق کاهش تولید و متعاقب آن چسبیدن قطرات مرطوب و نیمه مرطوب به یکدیگر و به جداره خشک کن است. در این تحقیق، بیشترین بازده تولید پودر (۵۵/۷۴٪)، مربوط به نسبت ۵۰:۵۰ حامل به شیر به در دمای 160°C بود که بازده بیش از ۵۰٪، بیانگر تولید اقتصادی و فرآیند موفق تبدیل شیر خرمای به پودر است [۲۳]. اگرچه با افزایش دمای هوای ورودی از 160°C به 180°C به طور مشخصی از مقدار تولید پودر کاسته شد ($P < 0.05$) که این نیز به دلیل تبدیل سطح قطرات به حالت لاستیکی در دمایی بیش از دمای انتقال شیشه‌ای ماده است [۲۴]. سربندی و صادقی (۲۰۱۶)، سانتالاکشمی و همکاران (۲۰۱۵)، چگینی و قبادیان (۲۰۰۷) و گولا و آدامپولوس (۲۰۰۵) به ترتیب افزایش بازده تولید پودرهای شیر خرمای، آب شاه توت هندی، پرتقال و گوجه فرنگی، و پایاداکیس و همکاران (۲۰۰۶)، کاهش تولید پودر حاصل از عصاره کشمش را تحت تأثیر افزایش دمای هوای فرآیند مشاهده کردند.

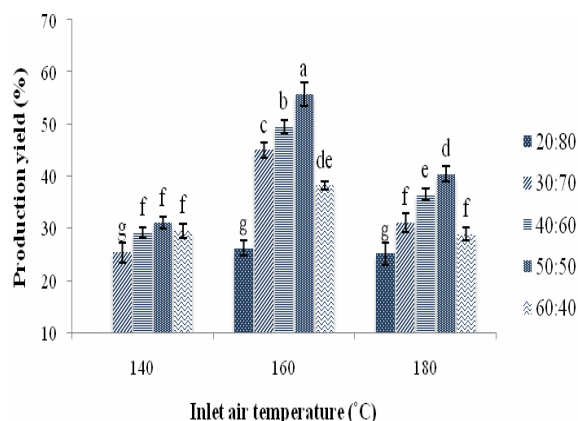


Fig 2 Powder production yield at various inlet air temperatures and Arabic gum/date palm syrup ratios.

در صورت افت کیفی هوای خشک کن یا پائین بودن دمای هوای ورودی، ذرات پاشیده شده به درون محفظه یا بصورت کاملاً خیس به همدیگر چسبیده و تولید قطرات درشتتری نموده و در جداره داخلی خشک کن تشکیل رسوب می‌دهند و در شرایطی که ذرات نیمه خشک تولید شوند و فرآیند خشک شدن بطور کامل انجام نگیرد این ذرات نیز در قسمت‌های پائین-تر جداره داخلی چسبیده و تولید ذرات سوخته یا نیمه سوخته می‌نمایند که هیچ گونه شباهتی با محصول تولید شده اصلی حین فرآیند نداشته و در نتیجه سبب افزایش ضایعات، کاهش

۲-۸- میزان جاذب الرطوبه بودن

جذب رطوبت توسط پودرها از مهمترین عوامل موثر بر قابلیت حفظ، نگهداری و پایداری پودرهای غذایی و دارویی در شرایط مختلف بسته‌بندی و نگهداری است. قابلیت جاذب الرطوبه بودن پودرها به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده توسط ۱۰۰ گرم پودر) طی ۷ روز نگهداری در دمای محیط 30°C و رطوبت نسبی $\text{RH} = 75\%$ در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید سدیم تعیین گردید [۲۲].

۲-۹- میکروسکوپ الکترونی روبشی

ساختار ذرات پودر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل Pemteron PS-230، کره جنوبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها به طور مجزا با استفاده از نوار چسب‌های دوسویه بر صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس عمل روکش‌دهی ذرات با استفاده از لایه نازکی از طلا انجام شد. در نهایت هر نمونه پوشش دهی شده به میکروسکوپ منتقل و مشاهده ساختار سطحی ذرات صورت گرفت [۲۲].

۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری

در پژوهش حاضر متغیرهای دمای هوای فرآیند (سه سطح) و نسبت وزنی مالتودکسترین به شیر خرمای (چهار سطح) با کاربرد طرح فاکتوریل کامل و در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت و اثرات خطی و متقابل فاکتورها با کاربرد آنالیز واریانس و استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند تا فاکتورهای مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند و اثر دما و نسبت‌های حامل به کار رفته بر روی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت بررسی معنی‌دار بودن اثر متغیرها در ($P < 0.05$) مشخص گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بازده تولید پودر

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش دمای هوای ورودی از 140°C به 160°C در کلیه نسبت‌ها، بازده تولید پودر افزایش یافت ($P < 0.05$). اگرچه در نسبت ۲۰:۸۰، صمغ عربی به شیر خرمای در 140°C هیچ پودری تولید نشد، اما انجام این فرآیند با نسبت فوق در دمای 160°C موجب

اثر افزایش غلظت حامل بر رطوبت پودرهای تولیدی نیز در تحقیقات مختلفی بررسی گردید. افزایش جایگزینی حامل با شیر خرم با حفظ ماده جامد خوراک در مقدار یکسان، با افزایش آب آزاد و در دسترس جهت تبخیر همراه بوده که نهایت موجب کاهش مقدار رطوبت پودرها می‌گردد. این یافته موافق با نتایج حاصل از خشک کردن پاششی شیر خرم، پالپ لولو، آب گاک و هندوانه می‌باشد که در آن رطوبت پودرهای حاصل با افزایش دما و مقدار حامل کاهش یافت [۱۱ و ۱۶ و ۳۲-۳۱]. همچنین، گالو و همکاران (۲۰۱۱)، گزارش کردند که عوامل اصلی که بیشترین تأثیر را بر میزان رطوبت دارند، غلظت ماده جامد و دبی خوراک می‌باشد. با افزایش غلظت ماده جامد و دبی خوراک میزان رطوبت به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. اگرچه، گولا و آدامپولوس (۲۰۱۰) افزایش رطوبت پودرهای کنسانتره پرتقال را با افزایش غلظت مالتودکسترین مشاهده کردند. آن‌ها علت این یافته را خروج دشوار مولکول‌های آب از بین مولکول‌های بزرگ مالتودکسترین بیان نمودند.

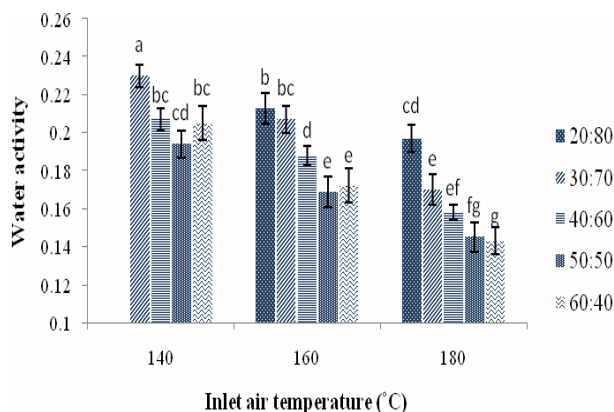


Fig 4 Powder water activity at various inlet air temperatures and Arabic gum/date palm syrup ratios.

نتایج حاصل از اثر دمای هوای فرآیند و غلظت حامل بر فعالیت آبی نمونه‌ها نیز مانند رطوبت بود. بدین شکل که افزایش دمای هوای ورودی با کاهش رطوبت نمونه‌ها، منجر به کاهش فعالیت آبی پودرها گشت. همچنین، با افزایش غلظت حامل تا نسبت ۵۰:۵۰، در دمای ۱۶۰ و ۱۸۰°C از فعالیت آبی نمونه‌ها کاسته شد (شکل ۴).

فعالیت آبی، آب آزاد قابل دسترس، در سیستم غذایی برای انجام واکنش‌های مختلف می‌باشد. این شاخص برای پودرهای شیر خرم بین ۰/۲۱۳-۰/۱۴۳ بدست آمد. مقادیر فعالیت آبی

راندمان تولید و ضررهای اقتصادی چشمگیری در مقیاس صنعتی می‌شوند [۹ و ۲۸]. از سوی دیگر، افزایش غلظت حامل تا نسبت ۵۰:۵۰ حامل به شیر خرم، در دو دمای کارآمد ۱۶۰ و ۱۸۰°C موجب افزایش بازده تولید پودر در نتیجه تشکیل فیلم غیرچسبنده اطراف ذرات، افزایش دمای انتقال شیشه‌ای کل گردید ($P < 0.05$). اگرچه در این دو دما نیز با افزایش غلظت حامل به شیر، به نسبت ۶۰:۴۰ بازده تولید پودر تحت تأثیر افزایش ویسکوزیته مخلوط کاهش یافت [۱۱ و ۲۸].

۳-۲- مقدار رطوبت و فعالیت آبی

شکل ۳ نشان دهنده اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر رطوبت پودرهای شیر خرم است. در این تحقیق، با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ به ۱۸۰°C مقدار رطوبت پودرهای شیر خرم کاهش یافت. همچنین با افزایش نسبت حامل به شیر خرم از ۲۰:۸۰ به ۵۰:۵۰، از رطوبت نمونه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کاسته شد ($P < 0.05$).

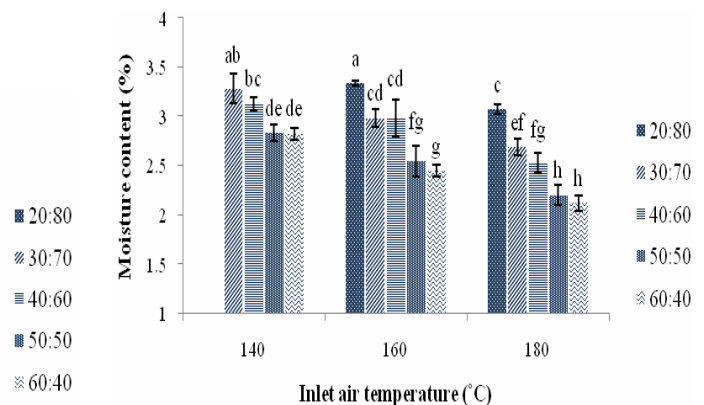


Fig 3 Powder moisture content at various inlet air temperatures and Arabic gum/date palm syrup ratios.

هرچه اختلاف دما بین ذرات و محیط خشک کردن بیشتر باشد، سرعت انتقال حرارت در ذرات افزایش می‌یابد که در نتیجه نیروی محرکی برای حذف رطوبت ایجاد می‌شود [۱۶ و ۳۰-۲۹]. از سوی دیگر، براساس مطالعات سرابندی و صادقی (۲۰۱۶) و تانن و همکاران (۲۰۰۸)، میزان رطوبت به طور معنی‌داری تحت تأثیر دمای هوای ورودی و دبی خوراک می‌باشد که اثر دما بر میزان رطوبت پودر بیشتر می‌باشد. با افزایش دبی خوراک زمان تماس بین خوراک و هوای خشک کاهش می‌یابد که منجر به کاهش سرعت انتقال گرما و سرعت تبخیر آب می‌شود.

۰/۷۲ و ۰/۵۶ تا ۰/۸۷g/ml متغیر بود. به طور کلی، نتایج حاکی از اثر افزایش دمای هوای ورودی و نسبت وزنی حامل بر کاهش دانسیته توده و ضربه پودرها بود ($P < 0.05$). در این رابطه افزایش دمای هوای خشک کردن با افزایش سرعت تبخیر رطوبت و افزایش تخلخل، موجب کاهش دانسیته نمونه-ها گردید.

کمتر از ۰/۶ نشان دهنده پایداری میکروبیولوژیکی بالای پودرهای حاصل است [۱۶].

۳-۳- دانسیته توده و توده حاصل از ضربه

جدول ۱، مقادیر دانسیته توده و توده حاصل از ضربه پودرهای شیره خرما در ارتباط با دمای هوای ورودی و نسبت وزنی صمغ عربی و شیره خرما را نشان می‌دهد. در این تحقیق، دانسیته توده و ضربه پودرهای شیره خرما به ترتیب از ۰/۵ تا

Table 1 Powder physicochemical properties at various inlet air temperatures and Arabic gum/date palm syrup ratios.

Treatments	Bulk density	Tapped density	Hausner ratio	Carr index	Repose	wettability
20:80 140°C	-	-	-	-	-	-
20:80 160°C	0.52±0.02de	0.726±0.02ef	1.207±0.01a	0.174±0.01a	46.33±3.05a	2.81±0.48f
20:80 180°C	0.51±0.02de	0.72±0.02f	1.185±0.015abc	0.157±0.01ab	45.33±2a	2.21±0.2f
30:70 140°C	0.723±0.03a	0.88±0.02a	1.205±0.05a	0.17±0.01ab	37.33±2.08b	4.79±0.9ef
30:70 160°C	0.71±0.02ab	0.85±0.02a	1.197±0.02ab	0.164±0.01ab	35.33±1.15bc	4.99±0.7ef
30:70 180°C	0.68±0.03bc	0.8±0.04bc	1.176±0.02bcd	0.15±0.01bcd	33.66±1.52cd	3.95±0.9ef
40:60 140°C	0.71±0.03ab	0.84±0.02ab	1.182±0.01abc	0.154±0.01abc	34±1.7c	15.63±0.9e
40:60 160°C	0.67±0.03c	0.776±0.03cd	1.158±0.01cde	0.136±0.02cde	32.67±1def	10.51±1ef
40:60 180°C	0.65±0.04c	0.74±0.03def	1.144±0.03efg	0.126±0.01efg	33.33±1.5cde	8.92±1.43ef
50:50 140°C	0.67±0.03c	0.77±0.03cde	1.149±0.02ef	0.13±0.01def	32.33±1.15defg	84.4±8.04c
50:50 160°C	0.54±0.02d	0.61±0.02g	1.127±0.02fgh	0.111±0.01fgh	30±2fg	69.63±9.6d
50:50 180°C	0.51±0.03de	0.568±0.02gh	1.11±0.02h	0.099±0.02h	29.67±1.6g	65.15±6.78d
60:40 140°C	0.65±0.03c	0.753±0.03def	1.153±0.03def	0.132±0.01def	34.67±2.5c	139.02±9.52a
60:40 160°C	0.51±0.02de	0.59±0.04gh	1.134±0.01efg	0.112±0.01fgh	31±1.5efg	135.98±7.2ab
60:40 180°C	0.5±0.01e	0.56±0.04h	1.12±0.02gh	0.1±0.01gh	30.66±1.15efg	126.77±2.7b

Different letters in the same column indicate significant difference among samples $P < 0.05$.

کاهش فضای خالی بین آن‌ها موجب افزایش دانسیته توده و ضربه پودرها می‌گردد. از سوی دیگر، افزایش غلظت حامل مورد استفاده، علاوه بر کاهش تولید ذرات ترموپلاستیک و ممانعت از چسبیدن آن‌ها به هم، با تشکیل پوسته یا فیلم اطراف ذرات و احتباس هوا درون آن‌ها موجبات کاهش دانسیته را فراهم می‌آورد. نتایج حاصل از این تحقیق با یافته-های گولا و آداموپولوس (۲۰۱۰)، شرسا و همکاران (۲۰۰۷) و کوئک و همکاران (۲۰۰۷) است.

۳-۴- شاخص‌های جریان پذیری

جدول ۱، مقادیر پیوستگی، شاخص تراکم‌پذیری و زاویه ریپوز پودرهای شیره خرما تولید شده در شرایط مختلف را نشان می‌دهد. مقدار پیوستگی و تراکم‌پذیری پودرهای شیره خرما به ترتیب بین ۱/۱ تا ۱/۲ و ۰/۱ تا ۰/۱۷۴ متغیر بود. آنالیز آماری نشان دهنده کاهش این دو شاخص پودرها در هر نسبت وزنی صمغ عربی به شیره با افزایش دما از ۱۴۰ به ۱۸۰°C است

در دمای هوای بالاتر، تولید ذرات توخالی و پوک با چروکیدگی کم افزایش می‌یابد که در نتیجه اندازه ذرات بزرگتر شده، تخلخل و فضای خالی بین ذرات بیشتر می‌شود. همچنین، اگر درصد ذرات درشت موجود در پودر بیشتر باشد در اثر ضربه حجم تغییر زیادی پیدا نمی‌کند و بنابراین دانسیته توده ضربه‌ای کوچکتر می‌شود. اما اگر علاوه بر ذرات درشت، ذرات ریز هم با نسبت مشابه در پودر وجود داشته باشد در اثر ضربه، ذرات ریز فضای بین ذرات درشت را اشغال کرده و در نتیجه تغییر حجم، زیاد بوده و دانسیته توده ضربه‌ای بیشتر می‌شود. سرابندی و صادقی (۲۰۱۶) و فرناندز و همکاران (۲۰۱۲) نیز به ترتیب با مطالعه اثر شرایط فرآیند بر ویژگی‌های پودرهای حاصل از شیره خرما و عصاره گوشت کاکتوس، گزارش کردند که دانسیته توده و دانسیته ذره با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین کاهش می‌یابد. در غلظت‌های پائین حامل به شیره خرما، ماهیت چسبنده پودرهای حاصل به دلیل تمایل ذرات به چسبیدن به یکدیگر و

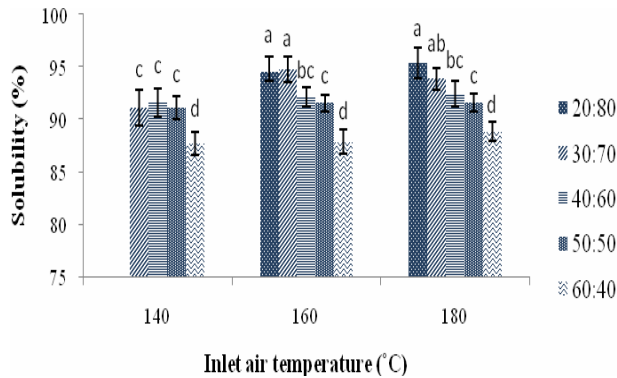


Fig 5 Powder solubility at various inlet air temperatures and Arabic gum/date palm syrup ratios.

اندازه، شکل، ترکیب، ویژگی‌های سطحی، ریزساختار ذره و حضور افزودنی‌ها و ترکیبات نامحلول و شرایط خشک کردن از عوامل موثر بر حلالیت پودرهای غذایی به شمار می‌روند [۶]. همچنین، اثر دمای مورد استفاده، سرعت جریان هوای ورودی، فشار و دور اتمایزر بسته به نوع ترکیب و حساسیت حرارتی آن بر حلالیت پودرهای تولیدی متفاوت است. به طور مثال، افزایش دمای هوای ورودی در فرآورده‌های حساس به حرارت نظیر محصولات لبنی، موجب دناتوراسیون پروتئین‌ها و در نتیجه کاهش حلالیت پودرهای حاصل می‌شود [۳۵]. همچنین، کوئک و همکاران (۲۰۰۷) نیز کاهش حلالیت و نم-پذیری پودرهای آب هندوانه را در نتیجه افزایش دمای هوای ورودی به علت تشکیل یک لایه سخت بر سطح ذرات و ممانعت از نفوذ آب به آن‌ها را گزارش کردند. در مورد اثر افزایش غلظت حامل بر حلالیت پودرها نیز سرابندی و صادقی (۲۰۱۶) و گولا و آداموپولوس (۲۰۱۰) به ترتیب افزایش حلالیت پودرهای شیره خرما و آب پرتقال را با افزایش غلظت مالتودکسترین و کتان و همکاران (۲۰۰۵) کاهش حلالیت پودرهای آب انبه را تحت تأثیر افزایش غلظت نشاسته مومی گزارش کردند. این نتایج نشان دهنده اثر نوع ماده اولیه و شرایط متفاوت فرآیند بر حلالیت محصول نهایی است.

جدول ۱، مقادیر نم‌پذیری پودرهای شیره خرما را تحت تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت‌های مختلف حامل نشان می‌دهد. زمان نم‌پذیری پودرهای شیره خرما در محدوده گسترده ۲/۲ تا ۱۳۶ ثانیه متغیر بود. با این‌که افزایش غلظت صمغ عربی تا نسبت ۵۰:۵۰ اثر چندانی بر کاهش حلالیت پودرهای شیره خرما نگذاشت، اما این افزایش، بیشترین اثر را بر زمان نم-پذیری پودرها از خود نشان داد ($P < 0.05$). اگرچه افزایش

($P < 0.05$). از سوی دیگر، افزایش نسبت وزنی حامل به شیره از ۲۰:۸۰ به ۵۰:۵۰ نیز موجب کاهش مقادیر این شاخص‌ها گردید. بر اساس تحقیقات فیتزپاتریک و همکاران (۲۰۰۸) که ارتباط تجربی ویژگی‌های جریان پذیری با مقادیر شاخص‌های فوق را بررسی کردند، مقادیر پیوستگی و تراکم-پذیری پودرهای شیره خرما حاکی از جریان پذیری خوب نمونه‌های تولید شده است.

همچنین بیشترین و کمترین زوایه ریپوز پودرهای شیره خرما به ترتیب مربوط به تیمارهای تولید شده با نسبت ۲۰:۸۰ حامل به شیره در دمای 160°C و عمدتاً ۵۰:۵۰ حامل به شیره در کلیه دماها بود. این یافته هم به نوعی تأیید کننده نتایج حاصل از دو شاخص دیگر است. بر اساس تحقیقات موری‌پرا و همکاران (۲۰۰۹) که اثر دمای هوای ورودی و نسبت حامل بر ویژگی جریان پذیری پودرهای حاصل از تفاله آسیرولا را بررسی کردند، کاهش رطوبت پودرهای تولید شده را تحت تأثیر افزایش دمای هوای ورودی، عامل بهبود جریان پذیری بیان نمودند. نقش رطوبت در تشکیل پل‌های مایع بین ذرات و کلوخه‌ای شدن آن‌هاست که سبب کاهش جریان پذیری پودرها می‌گردد. همچنین، افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل با افزایش اندازه ذرات (کاهش سطح تماس و اصطکاک بین ذره‌ای) و کاهش چسبندگی سطحی موجب افزایش جریان پذیری پودرها می‌شوند [۲۰].

۳-۵- انحلال‌پذیری و نم‌پذیری

حلالیت پودر یک ویژگی عملکردی مهم پودرهای غذایی می‌باشد که بر رفتار پودرها، زمانی‌که در آب بازسازی می‌شوند اثر می‌گذارد. از نقطه نظر تجاری و مصرف نیز، این ویژگی از نظر تولیدکنندگان و مصرف کنندگان از اهمیت خاصی برخوردار است. در کلیه دماها با افزایش غلظت حامل از نسبت ۵۰:۵۰ به ۶۰:۴۰، حلالیت پودرها کاهش یافت. همچنین در نسبت حامل به شیره ۳۰:۷۰ با افزایش دمای هوای ورودی از 140°C به 160°C افزایش حلالیت پودرها مشاهده گردید ($P < 0.05$).

نمونه‌ها می‌باشد. از سوی دیگر، افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ به ۱۶۰°C نیز با کاهش رطوبت پودرها، افزایش اختلاف رطوبت بین نمونه و محیط اطراف، موجب بیشتر شدن جاذب رطوبتی پودرهای شیر خرمای گردید ($P < 0.05$). گرچه دمای بالاتر اثر چندانی بر مقدار این شاخص از خود نشان نداد. این یافته موافق با نتایج حاصل از تحقیقات بازاریا و کومار (۲۰۱۶)، سرابندی و صادقی (۲۰۱۶) و سانتالاکشمی و همکاران (۲۰۱۵) که اثر دما و غلظت حامل را بر جاذب رطوبتی پودرهای حاصل از شیر خرمای، آب چغندر قند و آب میوه جامون بررسی کردند مطابقت دارد.

موری‌پرا و همکاران (۲۰۰۹) و گولا و آداموپولوس (۲۰۱۰) به ترتیب کاهش جاذب رطوبتی نمونه‌های پودر آسیرولا و آب پرتقال در نتیجه افزایش غلظت حامل و دمای هوای ورودی مشاهده و اثر دما بر کاهش این شاخص را مربوط به افزایش نسبی دمای انتقال شیشه‌ای پودرها عنوان کردند. پودرهای مناسب از جاذب رطوبتی پائینی، رطوبت و درجه کلوخه‌ای شدن پائینی برخوردارند [۳۷]. این شاخص با دیگر ویژگی پودرها نظیر رطوبت و فعالیت آبی در ارتباط است و به جز ماندگاری محصول، جریان پذیری و سهولت کاربرد آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۴]. انواع ترکیبات حامل با وزن مولکولی و دمای انتقال شیشه‌ای بالا نظیر صمغ عربی، مالتودکسترین، کنسانتره پروتئین آب پنیر، موجب کاهش جاذب رطوبتی محصول نهایی می‌شوند [۲۲، ۳۸].

۳-۷- میکروساختار پودرهای شیر خرمای

با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی، ویژگی‌های فیزیکی سطح ذرات قابل بررسی و شناسایی است. شکل ۷ اثر دمای هوای ورودی و نسبت‌های وزنی مختلف صمغ عربی به شیر خرمای بر میکروساختار ذرات تولید شده را نشان می‌دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی پودرهای شیر خرمای نشان دادند که، در غلظت‌های پائین صمغ عربی (تا نسبت وزنی ۳۰:۷۰ حامل به شیر) و در دمای ۱۴۰°C، ذرات پودر تولید شده نسبتاً کروی و دارای سطوح صافی هستند که چسبندگی بین ذرات مجاور از طریق تشکیل پل‌های مایع در آن‌ها مشاهده می‌شود (a-c). با افزایش غلظت صمغ تا نسبت ۵۰:۵۰ در همان دما، به دلیل افزایش ویسکوزیته خوراک، ضخامت فیلم تشکیل شده و سرعت پائین خروج رطوبت که موجب طولانی‌تر شدن زمان تشکیل پوسته می‌شود، ذراتی با

غلظت مالتودکسترین در خشک کردن پاششی شیر خرمای اثر چندانی بر افزایش زمان‌پذیری نمونه‌ها از خود نشان نداد [۱۱]. در تحقیقات مختلف، اثر حامل‌های ایزوله پروتئین آب پنیر، اینولین، مالتودکسترین و جایگزینی آن‌ها در نسبت‌های مختلف با هم بر زمان‌پذیری پودرها مورد بررسی قرار گرفت که همه نتایج حاکی از اثر قابل ملاحظه نوع حامل بر مقادیر این شاخص بود [۱۳ و ۱۷]. عوامل متعددی نظیر ویژگی‌های سطحی ذرات می‌توانند خصوصیات عملکردی پودرها نظیر قابلیت‌پذیری، پخش‌پذیری، پایداری اکسیداتیو، چسبندگی، حالیت و همچنین درجه کیک شدن را تحت تأثیر قرار دهند. پودرهای بسیار ریز که در دماهای پائین تولید می‌شوند، به دلیل کشش سطحی بالا از قابلیت‌پذیری پائینی برخوردارند [۲۰].

۳-۶- جاذب رطوبتی

جاذب رطوبتی توانایی ماده به جذب رطوبت از محیط اطراف است و یک شاخص بسیار مهم برای ارزیابی قابلیت نگهداری و پایداری ترکیبات حساس ریزپوشانی شده در شرایط نامطلوب محیطی به شمار می‌آید. در این تحقیق، افزایش غلظت حامل در دمای ثابت، تا نسبت ۶۰:۴۰ صمغ عربی به شیر، موجب کاهش جاذب رطوبتی بودن نمونه‌ها تحت تأثیر افزایش ضخامت لایه غیرچسبنده و با جاذب رطوبتی کم گردید، اما افزایش غلظت حامل، اثری بر کاهش جذب رطوبت نمونه‌ها نگذاشت.

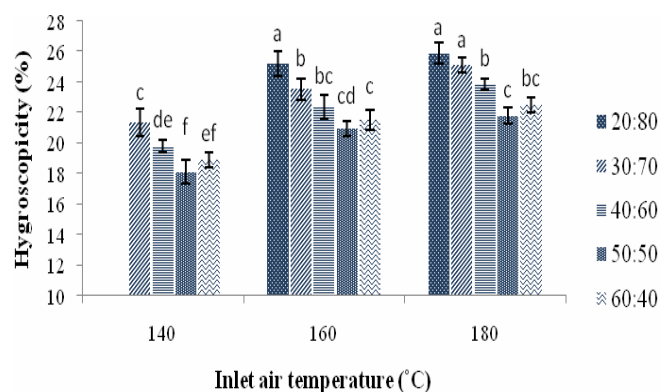


Fig 6 Powder hygroscopicity at various inlet air temperatures and Arabic gum/date palm syrup ratios.

این احتمالاً نخست، در نتیجه ویژگی آبدوستی حامل و در درجه دوم، به علت اثر افزایش غلظت حامل بر کاهش رطوبت

ذراتی با جداره‌های چروکیده ولی نسبتاً سالم مشاهده گردید
(f).

اشکال نامنظم، چروکیده و با جداره ناسالم همراه با شکاف‌های
بسیار تولید شد (d-e). اما با افزایش دمای هوای ورودی به
 160°C ، افزایش سرعت خروج رطوبت و تشکیل پوسته،

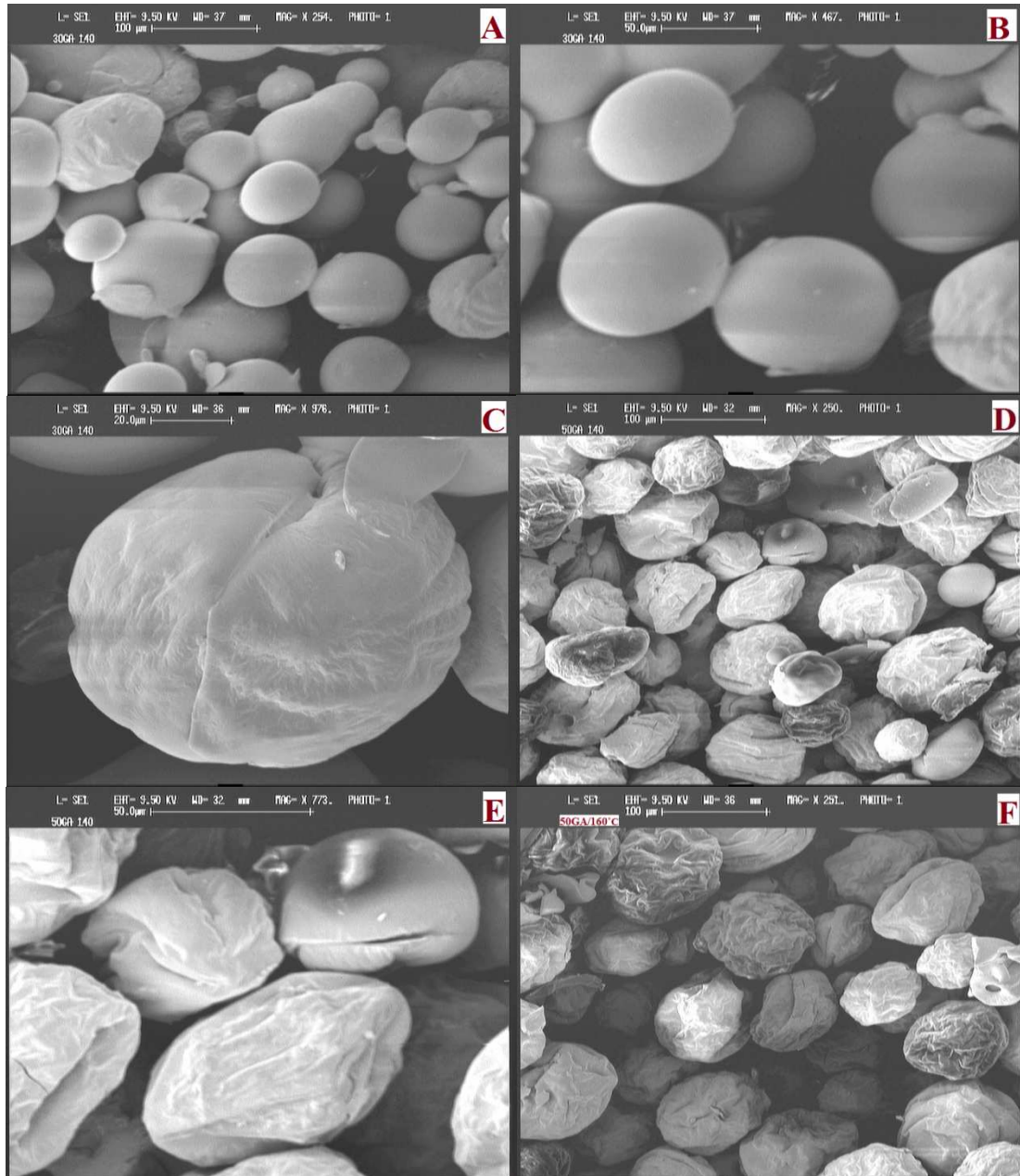


Fig 7 Scanning electron micrographs of spray dried date palm syrup produced at various inlet air temperatures and (Arabic gum/date palm syrup) ratios: a, b and c) 30:70 / 140°C , d and e) 50:50/ 140°C and f) 50:50/ 160°C .

یکنواخت و دیواره سالم بدون ترک و منفذ می‌شود. اگرچه
تولید ذرات با سطوح چروکیده و نامنظم، یک پدیده معمول در
خشک کردن پاششی محصولات مختلف است که عمدتاً به
دلیل تشکیل سریع پوسته بر سطح قطرات در مراحل اولیه
خشک کردن رخ می‌دهد [۴۲].

ذرات با ریزساختار مشابهی در میکروکپسول‌های مونوترپین‌ها
[۳۹]، اولئورزین هل [۴۰] و عصاره قهوه [۴۱] با خشک‌کن
پاششی و با استفاده از صمغ عربی به‌عنوان ماده دیواره تولید
شدند. در همه این محصولات، تبخیر سریع رطوبت از ذرات و
با غلظت مناسبی از حامل موجب تولید ذراتی با سطح

- (pp. 19-125). SprayDryConsult International ApS, Charlottenlund, Denmark.
- [3] Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology.*, 26, 816-835.
- [4] Fang, Z., Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International.*, 48, 478-483.
- [5] Adhikari, B., Howes, T., Shrestha, A.K., Bhandari, B.R., (2007). Development of stickiness of whey protein isolate and lactose droplets during convective drying. *Chemical Engineering and Processing* 46 (5), 420-428.
- [6] Bhandari, B. R., Patel, K. C., Chen, X. D. (2008). Spray drying of food materials—Process and product characteristics. *Drying technology in food process.*, 4, 113-157.
- [7] Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., Al-Rawahy, F. (2007). Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food Chemistry.*, 104, 943-947.
- [8] Kwaasi, A.A.A., (2003). Date palms. In: Caballero, B., Finglas, P.M., Trugo, L. (Eds.), *Encyclo Food Sci Nutr.*, 2nd ed. Elsevier Science, London, pp. 1730-1740.
- [9] Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B.R., Troung, V., (2004). Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. *Journal of Food Engineering* 62, 53-68.
- [10] Bhandari, B. R., Hartel, R. W. (2005). Phase transitions during food powder production and powder stability. In C. Onwulata (Ed.), *Encapsulated and powdered foods* (pp. 261-292). Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- [11] Sarabandi, KH., Sadeghi Mahoonak, A.R. (2016). The effect of inlet air temperature and the amounts of maltodextrin on physicochemical properties of spray dried date palm syrup. *Innovative Food Technologies*. Accepted manuscript.
- [12] Wang, W., Zhou, W. (2015). Characterisation of spray dried soy sauce powders made by adding crystalline carbohydrates to drying carrier. *Food Chemistry.*, 168, 417-422.
- [13] De Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Botrel, D. A. (2014). Gum

۴- نتیجه گیری

۱۵ تیمار مختلف برای ارزیابی اثر دمای هوای ورودی و نسبت‌های وزنی مختلف صمغ عربی به شیر خرمای بر بازده تولید پودر به عنوان معیار اقتصادی بودن فرآیند، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، جریان‌پذیری و ریزساختار پودرها، طراحی گردید. در آزمون و خطاهای اولیه انجام گرفته هیچ پودری در نسبت ۲۰:۸۰ صمغ عربی به شیر خرمای در دمای 140°C به دست نیامد. این نشان دهنده ترکیبی از چسبندگی قطرات تولیدی همراه با عدم کفایت دمای هوای ورودی بر خشک کردن قطرات متمیزه شده بود. متغیرهای فرآیند بازده تولید و ویژگی‌های پودرهای تولیدی را تحت تأثیر قرار دادند. پودرهای تولید شده در دمای 160°C و نسبت حامل به شیر ۵۰:۵۰، بالاترین بازده تولید و ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و عملکردی مناسبی از خود نشان دادند. دما و نسبت‌های وزنی بالاتر از این مقدار، اثری بر بهبود کارایی فرآیند تولید و ویژگی‌های محصول به دست آمده از خود نشان ندادند. در نسبت‌های وزنی پائین حامل به شیر خرمای و در دمای 140°C ، ذرات به دست آمده حالت چسبنده با ذرات غیرمجزا و سطوح نسبتاً صاف از خود نشان دادند که به نوعی تأیید کننده نتایج شاخص‌های جریان‌پذیری بودند. اما با افزایش غلظت در همان دما، به دلیل ممانعت از خروج رطوبت توسط غلظت بالای صمغ عربی، ذراتی با حالت چروکیده، با جداره ناسالم و شکسته تولید که این شکاف‌ها در جداره با افزایش دمای هوای ورودی به 160°C و بهبود کارایی فرآیند، برطرف گردید. در نهایت، پودرهای شیر خرمای تولید شده در این تحقیق را با دارا بودن ویژگی‌های عملکردی و پایداری بالا می‌توان به عنوان یک منبع قندی و مغذی به سهولت در صنایع مختلف مانند نانوائی، قنادی و انواع نوشیدنی‌های فوری به عنوان جایگزین یا همراه با ساکارز مورد استفاده قرار داد.

۵- منابع

- [1] Oliveira, W. P., Bott, R. F., Souza, C. R. (2006). Manufacture of standardized dried extracts from medicinal Brazilian plants. *Drying Technology.*, 24, 523-533.
- [2] Masters, K. (2002). Spray drying fundamentals. In *Spray Drying in Practice*

- [23] Bhandari, B. R., Datta, N., D'Arcy, B. R., Rintoul, G. B. (1998). Co-crystallization of honey with sucrose. *LWT-Food Science and Technology.*, 31, 138-142.
- [24] Bhandari, B. R., Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1-2), 71-79.
- [25] Chegini, G.R., Ghobadian, B., (2007). Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 3, 230-236.
- [26] Goula, A. M., and Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, 66, 25-34.
- [27] Papadakis, S. E., Gardeli, C., Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology.*, 24, 173-180.
- [28] Tonon, R. V., Brabet, C., Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering.*, 88, 411-418.
- [29] Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 342-351.
- [30] Moreira, G.E'd. G. Costa, M.G.M. Souza, A.C.R.DE. Brito, E.S.DE. Medeiros, M.DE.F.D.DE. Azeredo, H.M.C.DE. (2009). Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT - Food Science and Technology* 42: 641-645
- [31] Igual, M. Ramires, S. Mosquera, L.H. Martínez-Navarrete, N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology.* 256: 233-238
- [32] Kha, T.C. Nguyen, M.H. Roach, P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder, *Journal of Food Engineering.* 98: 385-392.
- [33] Gallo, L., Llabot, J. M., Allemandi, D., Bucalá, V., and Piña, J.(2011). Influence of spray-drying operating conditions on *Rhamnus purshiana* (Cáscara sagrada) arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate polymer.*, 101, 524-532.
- [14] Botrel, D. A., de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Yoshida, M. I. (2014). Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. *Food Research International.* 62, 344-352.
- [15] Bhusari, S. N., Muzaffar, K., Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology.*, 266, 354-364.
- [16] Quek, S. Y., Chok, N. K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem Eng Process: Process Intensific.*, 46, 386-392.
- [17] Cabral, A.C.S., Said, S., Oliveira, W.P., 2009. Retention of the enzymatic activity and product properties during spray drying of pineapple stem extract in presence of maltodextrin. *International. Journal of Food Properties.* 12, 536-548.
- [18] Righetto, A.M. Netto, F.M. (2006). Vitamin C stability in encapsulated green West Indian cherry juice and in encapsulated synthetic ascorbic acid, *Journal Scientific. Food Agriculture.* 86: 1202-1208.
- [19] Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. P., Howes, T., Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International. Journal of Food Properties.*, 10, 661-673.
- [20] Jinapong, N., Suphantharika, M., Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering.*, 84, 194-205.
- [21] Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering.*, 75, 27-35.
- [22] Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology.*, 274, 37-43.

- Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology.*, 23, 955-973.
- [39] Bertolini, A.C., Siani, A.C., Grosso, C.R. (2001). Stability of monoterpenes encapsulated in gum Arabic by spray-drying. *Journal of Agriculture. Food Chemistry.* 49 (2), 780–785.
- [40] Krishnan, S., Bhosale, R., Singhal, R.S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum Arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate. Polymer.* 61 (1), 95–102.
- [41] Rodrigues, R.A.F., Grosso, C.R.F. (2008). Cashew gum microencapsulation protects the aroma of coffee extracts. *Journal of Microencapsulation.* 25 (1), 13–20.
- [42] Wang, W., Jiang, Y., Zhou, W. (2013). Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering.*, 119, 724-730.
- extract powder physical properties. *Powder Technology*, 208, 205–214.
- [34] Fitzpatrick, J. J., Barry, K., Cerqueira, P. S. M., Iqbal, T., O'Neill, J., and Roos, Y. H. (2007). Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *International Dairy Journal*, 17, 383–392.
- [35] Kim, E. H. -J., Chen, X. D. and Pearce, D. (2003). On the mechanisms of surface formation and the surface compositions of industrial milk powders. *Drying Technology*, 21(2), 265-278.
- [36] Bazaria, B., Kumar, P. (2016). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Biology.*, 14, 21-27.
- [37] Bakar, S.C. J. Muhammad, Ee, K. Hashim, D.M. Adzahan, N. (2013). Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*), *Food Bioprocess Technology.* 6: 1332–1342.
- [38] Rodríguez-Hernández, G. R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A., Abud-Archila, M. (2005).

Influence of spray drying process conditions on the physicochemical, functional and microstructural properties of Date palm syrup (*Phoenix dactylifera* L.) powders

Sarabandi, Kh.¹, Sadeghi Mahoonak, A. R.^{2*}

1. Ph.D. Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2016/10/04 Accepted: 2017/01/18)

The aim of this study was to evaluate the influence of various parameters such as inlet air temperature and Arabic gum concentration on production efficiency, physicochemical, flowability and morphological properties of date syrup powder dried using pilot-scale spray drying. Process variables were: Inlet air temperature (140-180°C) and Arabic gum concentration (20:80 to 60:40 drying aid ratio to wet weight of date syrup). Maximum yield (55.74%) has been obtained for 50:50 Arabic gum ratio at 160°C. The product yield of the samples decreased, when inlet air temperature was increased from 160°C to 180°C and higher Arabic gum concentrations. Other Physicochemical properties such as moisture content, water activity, bulk density and tapped density of the powders reduced with increasing inlet temperature and carrier concentration. These properties were varied from 2.12-3.38%, 0.142-0.23, 0.5-0.72 and 0.56-0.87 g/ml, respectively. On the other hands, flowability behavior of samples was improved, when inlet air temperature and Arabic gum concentrations were increased, except for 60:40 Arabic gum ratios. Also, Hygroscopicity, solubility and wettability were significantly affected by the process variables. The results of scanning electron micrographs indicated that with increasing inlet air temperature and Arabic gum concentration, powder particles from fairly spherical, smooth surfaces and semi sticky state (in low carrier concentration) to individual and shrinkage particles (higher Arabic gum concentration in same temperature) were changed. Cracks in some particles didn't observed when drying temperature was increased from 140 to 180°C.

Keywords: Production yield, Spray drying, Arabic gum, Scanning electron microscope, Physicochemical properties.

* Corresponding Author E-Mail Address: Sadeghiaz@gau.ac.ir